

Hoofdstuk 7. Biomassa

M.P.M. Derkx en A.H.M.C. Baltissen

Wageningen UR, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, sector Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit.

7.1 Inleiding

Er bestaan verschillende definities voor biomassa. De definitie die wordt gebruikt vanuit de (duurzame) energieregeling (Richtlijn 2001/77/EG) is als volgt:

De biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval.

Ofwel: Al het plantaardig en dierlijk materiaal én bewerkt materiaal dat van plantaardige of dierlijke oorsprong is. Bronnen voor biomassa zijn de landbouw, de bosbouw en aquatisch, bijvoorbeeld algen.

De meest gebruikte indeling van biomassa is de indeling die volgens de technologie die wordt gebruikt om er bouwstenen uit vrij te maken. De indeling wordt vaak in relatie tot biobrandstoffen gebruikt, maar geldt ook voor bioproducten, bijvoorbeeld bioplastics:

1^e generatie biomassa



Mais. Bron: <http://slimintrading.com>



Koolzaad. Bron: www.kennisakker.nl

Fig. 48 1^e generatie biomassa.

1^e generatie biomassa komt rechtstreeks uit het gewas. Hierbij gaat het om biomassa als leverancier van de klassieke biobrandstoffen bio-ethanol en biodiesel. Er worden onderdelen van de plant gebruikt die ook als voedsel en veevoer kunnen dienen. Deze onderdelen bevatten gemakkelijk toegankelijke suikermoleculen (glucose) die de plant zelf gebruikt als reservevoedsel en die kunnen worden omgezet in ethanol.

Voorbeelden van 1^e generatie biomassa zijn zetmeel houdende gewassen zoals maïs (figuur 48), tarwe en aardappelen en suikerhoudende gewassen zoals suikerbiet en suikerriet, waaruit bio-ethanol gemaakt kan worden. Andere voorbeelden zijn oliepalm, soja, koolzaad (figuur 48) en zonnebloem, waarvan de noten en zaden gebruikt worden voor de productie van biodiesel. Andere onderdelen van de plant, die niet geschikt zijn voor voeding, zoals stengels en bladeren, blijven ongebruikt. Er is veel kritiek op het gebruik van deze eerste generatie biomassa: voedselgewassen speciaal verbouwd voor biobrandstof nemen veel



landbouwgrond in, die ook gebruikt kan worden voor de productie van voedsel. In Nederland wordt nog nauwelijks biomassa speciaal geteeld voor de productie van biobrandstoffen. Voor de productie van bio-ethanol zijn suikerbieten het meest veelbelovende gewas in Nederland, voor de productie van biodiesel is dat koolzaad. Ook granen en maïs worden verbouwd voor de productie van bio-ethanol. De grootste producenten van biobrandstoffen zijn de Verenigde Staten en Brazilië. De VS halen hun bio-ethanol uit maïs, Brazilië vooral uit suikerriet. In Brazilië bevinden de fermentatiefabrieken zich tussen de suikerrietvelden. Biomassa draagt voor ongeveer 10% bij aan de wereldenergievoorziening.

2^e generatie biomassa



Houtsnippers. Bron: www.ecn.nl

Fig. 49 2^e generatie biomassa.



Stro. Bron: www.kennislink.nl

2^e generatie biomassa wordt gevormd door de restproducten van de gewassen, zoals houtsnippers (figuur 49) en aardappelstoomschillen. Ook deze onderdelen bevatten suikers, maar dat zijn suikers die de plant niet gebruikt als (reserve)voedsel, maar voor haar structuur en stevigheid. Het gaat hierbij om suikers als cellulose en hemicellulose. Om deze suikers te ontsluiten zijn andere technieken nodig dan voor zetmeel of er zijn enzymen of micro-organismen nodig. Tweede generatie bio-ethanol is ethanol uit lignocellulose uit bijvoorbeeld hout of stro (figuur 49). Tweede generatie biodiesel kan gemaakt worden uit afvalresten, hout en stro. Speciaal voor de productie van tweede generatie biobrandstoffen, worden ook wel oneetbare gewassen zoals wilg, olifantsgras (*Miscanthus*), vingergras (*Panicum virgatum*), soedangras, Tagetes, Japanse haver, hennep en Jatropha verbouwd (figuur 50). Sommige organisaties vinden de term 2^e generatie biomassa voor dergelijke gewassen discutabel omdat er wel ruimte, water en nutriënten voor nodig zijn en ze daarom concurreren met voedselgewassen.



Fig. 50 Sommige gewassen worden speciaal voor de productie van biomassa geteeld. Links: *Miscanthus* (www.wageningenur.nl), rechts *Jatropha* (www.energie-technologie.nl).



3^e generatie biomassa

3^e generatie biomassa betreft biomassa die niet is gebonden aan het gebruik van landbouw- of bosbouwgrond. Het gaat om biomassa uit micro-algen (algen) (figuur 51), macro-algen (wieren) en eendenkroos die speciaal voor biomassaproductie geteeld worden. Micro-algen zijn zeer kleine (1-50 µm) organismen zonder wortels en bladeren, die in staat zijn te fotosynthetiseren, waarbij ze CO₂ opnemen en O₂ afstaan. Micro-algen worden nu voornamelijk gebruikt voor de productie van visvoer en voedingssupplementen. Algen kunnen echter grote hoeveelheden lipiden/olie produceren waarvan biodiesel gemaakt kan worden. Ook bevatten ze omega vetzuren. Wereldwijd vindt veel onderzoek plaats naar de kweek en de winning van algen. Een van de onderzoekslocaties is het AlgaePARC van Wageningen UR (figuur 51).



Algen. Bron: www.wageningenur.nl

Fig. 51 3^e generatie biomassa.



Reactor voor algen. Bron: AlgaePARC Wageningen UR.

Voor de productie van biomassa gebruiken micro-algen de energie van de zon. Micro-algen hebben een aantal voordelen in vergelijking met gewassen zoals koolzaad of maïs, die nu voor de productie van biobrandstoffen geteeld worden. Micro-algen kunnen gekweekt worden op grond die niet geschikt is voor de landbouw. Bij micro-algen is er dus geen concurrentie tussen voedselproductie en brandstofproductie. Wat overblijft na de winning van olie, kan zelfs als voedsel voor mens en dier gebruikt worden. Micro-algen groeien in hoge dichtheden, er is weinig zoetwater voor nodig en ze hebben geen houtige, lastig te verwerken, bestanddelen. Op het moment produceren micro-algen 20.000 liter olie per hectare per jaar. Dat is ruim drie keer zoveel als de oliepalm en ruim 100 keer zoveel als maïs. Een nadeel van biobrandstoffen uit algen is dat de productiekosten nu nog hoger zijn dan de productiekosten vanuit gewassen zoals koolzaad en maïs. Pas als naast de oliën ook de eiwitten (20-50%) en de koolhydraten (10-20%) benut kunnen worden, is een rendabel proces mogelijk. De koolhydraten kunnen via fermentatie omgezet worden in chemicaliën. Voor eiwitten zijn diverse technische toepassingen denkbaar.

Zeewieren worden geteeld in open zee. Hiermee is er geen concurrentie met landbouwgrond en ligt er een enorm potentieel aangezien water 71% van het aardoppervlak inneemt. Zeewieren kunnen toepassingen vinden in voeding, verdikking- en geleermiddelen, bio-energie, chemicaliën en medicijnen.

Eendenkroos bevat veel eiwitten die voor voedsel- en non-foodtoepassingen kunnen worden ingezet. Eendenkroos bevat ongeveer zeven maal zoveel eiwit als soja. Nevenproducten van eendenkroos zijn cellulose, verdikkingsmiddelen en pigmenten.





Fig. 52 De teelt van eendenkroos (links) (www.abc-kroos.nl) en zeewieren (rechts) www.biobasedeconomy.nl.

Soms wordt de term 3^e generatie gebruikt in relatie tot nieuwe technieken om bruikbare stoffen uit planten vrij te maken, bijvoorbeeld lignine.

Een andere indeling van biomassa is die naar de oorsprong:

1. Biomassateelt;
2. primaire bijproducten;
3. secundaire bijproducten;
4. tertiaire bijproducten (zoals beschreven in hoofdstuk 3: Reststromen).

Gemiddeld wordt slechts de helft van de biomassa die op een veld groeit uiteindelijk als geoogst product verder verwerkt. De helft wordt nu dus maar benut.

In 2009 is een uitgebreide studie gedaan naar de beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte. Naar schatting is in 2020 13,4-16,4 miljoen ton droge stof beschikbaar voor energieopwekking (Koppejan e.a., 2009). Tabel 7.1 geeft een overzicht van verschillende biomassastromen.



Biomassastroom	Kiloton droge stof
Stro	935
Grasstro	85
Natte gewasresten akkerbouw	742
Natte gewasresten tuinbouw	280
Groenbemester	70
Fruit- en boomteelt	80-130
Hout uit bos zonder oogst	376
Hout uit bos met oogst	1.244
Hout uit landschap	480
Natuurgras	1.080
Bermgras en gras van waterwegen	640
Heide	146
Riet	40
Energieteelt binnen landbouw	9.900
Energieteelt buiten landbouw	500
Hout uit bebouwde omgeving	280
Natte biomassa bebouwde omgeving	490
Gras voor bioraffinage	10.000
Resthout uit houtverwerkende industrie	576
Steekvaste (pluimvee) mest	2.972
Drijfmest	4.892
RWZI slib	341
Aquatische biomassa	0
Swill	2
Aardappelrestproducten	178



Biomassastroom	Kiloton droge stof
Oliezadenschroot	3.093
Diermeel	213
Aardappel/tarwe zetmeel	415
Cacaodoppen	56
Koffiedik	16
Suikerbietenreststromen	132
Bierborstel	100
Groenteafval	23
Visafval	15
Restvetten	100
Frituurvetten	130
Gescheiden ingezameld GFT	659
Papierresiduen	256
Textiel	95
Oud en bewerkt hout	1.337
Restfractie huishoudelijk afval (HHA)	2.758
Restfractie industrieel afval	827
Restfractie kantoor, winkel en diensten (KWD)	1.104
Veilingafval	32
composteeroverloop	30

Tabel 7.1. Netto beschikbaarheid van Nederlandse biomassa per stroom voor elektriciteit en warmte). Bron: Koppejan e.a., 2009



7.2 Nieuwe teelten voor biomassa

In Nederland wordt nog nauwelijks biomassa speciaal geteeld voor Biobased toepassingen. Gewassen zoals suikerbiet, aardappel en koolzaad kunnen wel bouwstenen, zoals suiker, zetmeel en olie leveren voor Biobased toepassingen. Ook is er belangstelling voor andere gewassen, zoals wilg, Miscanthus en switchgras. Vanwege de relatief hoge kosten komt de teelt van dergelijke gewassen moeilijk van de grond. Miscanthus, ook wel olifantsgras genoemd is een gewas dat 3,5 m hoog wordt. Na het planten blijft het gewas meer dan 10 jaar, soms 20 jaar staan. Oogsten vindt in het voorjaar plaats, vlak voordat het gewas weer gaat uitlopen. Dit gebeurt met een maïshakselaar. De startkosten van een teelt zijn hoog door de hoge kosten van het uitgangsmateriaal. Pas na 5-6 jaar wordt winst gemaakt. Onkruidbestrijding is alleen nodig in het eerste jaar na aanplant. Er is geen bemesting of irrigatie nodig en ook geen insecticiden. Miscanthus kent diverse toepassingen omdat het sterk, buigzaam en droog is. Hierdoor hoeft het niet eerst terug gedroogd te worden voor verdere verwerking. Naar verwachting kan per jaar 20 ton Miscanthus per ha geoogst worden. Miscanthus bevat veel cellulose en is hiermee onder meer interessant voor de productie van papier, plastic en kerosine. In de Haarlemmermeer wordt inmiddels 60 ha geteeld. Ook op Zeeuws Vlaanderen wordt het gewas geteeld. Voor bioraffinage wordt er nu nog te weinig geteeld, maar voor toepassingen als stalstrooisel, als brandstof en voor bouwmaterialen liggen hier al mogelijkheden.

Een ander gewas met mogelijkheden is het vezelgewas hennep. Het blad, de vezels, het hout en het zaad kennen diverse toepassingsmogelijkheden, variërend van bouw materiaal tot papier, van plastics tot verf en coatings en van composieten tot veevoeder (figuur 6, 7). Composieten vormen een interessante groep materialen omdat ze sterk en stijf zijn, ook bij hoge temperaturen. Voordelen van het gebruik van composieten boven bijvoorbeeld metalen zijn onder andere een laag gewicht, lange levensduur en lage onderhoudskosten. Hennep heeft als voordeel dat het lokaal kan worden geteeld en ook weer lokaal kan worden ingezet. De teelt vraagt weinig nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. De hennep kan geoogst worden met een speciale hennepoogstmachine. Dit is een aangepaste maïshakselaar die het stro in stukken van ongeveer 60 cm snijdt. Voor de oogst van het zaad kan een conventionele dorser gebruikt worden.

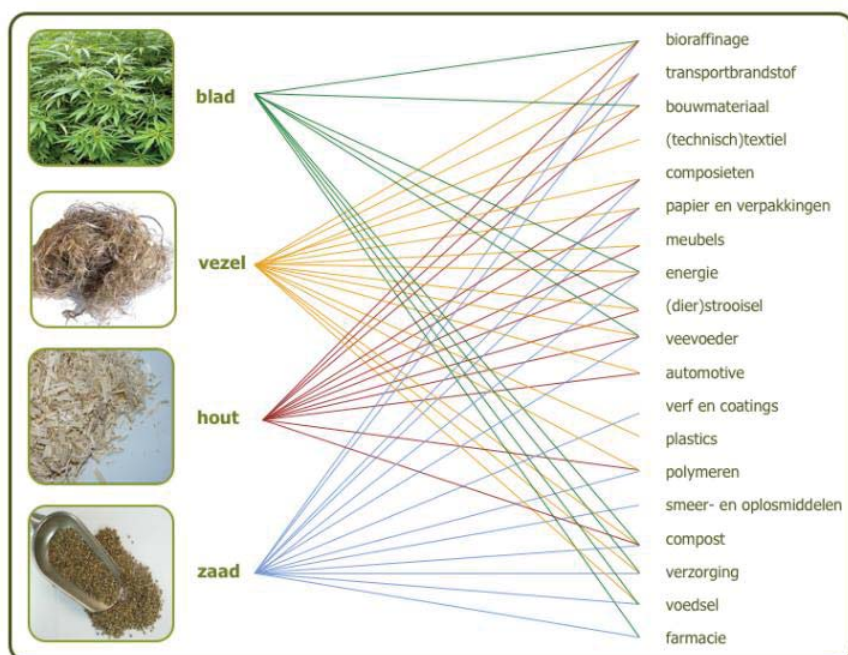


Fig. 53 De verschillende delen van vezelhennep en hun toepassingen. Bron: Pantanova.





Fig. 54 Isolatiematten (links) en bouwblokken van hennep. Bron: Pantanova.

Vlas is een ander vezelgewas met mogelijkheden binnen een Biobased Economy. De lange vlasvezels worden gebruikt in de textielindustrie. De korte vezels waren voorheen afval, maar kunnen een grondstof zijn voor de productie van isolatiematerialen, vezel versterkte composieten, technisch textiel en constructiematerialen. De houtige deeltjes van het vlasstro kunnen worden gebruikt als stalstrooisel. Vlaszaad kan in voeding worden gebruikt.



Fig. 55 De teelt van vlas. Bron: NAK

7.3 Toepassingen voor biomassa

In hoofdstuk 3, waarin reststromen behandeld zijn, zijn diverse toepassingsmogelijkheden voor reststromen en biomassa in brede zin genoemd. De meeste biomassa wordt gebruikt voor energietoepassingen. In 2010 is er in Nederland in totaal 115 petajoule (115×10^{15} joule) aan biomassa gebruikt voor de energievoorziening. De belangrijkste grootschalige toepassingen van biomassa zijn afvalverbrandingsinstallaties, het meestoken in elektriciteitscentrales en het gebruik van biobrandstoffen voor het wegverkeer (figuur 56). Er zijn houtketels en kachels voor warmte op bedrijven en bij huishoudens. Daarnaast is er de overige biomassaverbranding. Hieronder valt onder meer de verbranding van afvalhout, kippenmest en papierslib. Biomassa kan ook eerst worden omgezet in biogas. Natte organische afvalstromen kunnen via vergisting ook vaak worden omgezet in biogas. Dat gebeurt in rioolwaterzuiveringsinstallaties en in afvalwaterzuiveringsinstallaties in de industrie. Ook wordt veel biogas gemaakt uit vergisting van mest,



samen met ander organisch materiaal (co-vergisting van mest). Biomassa heeft echter vaak een scala aan stoffen, die een hoogwaardiger toepassing verdienen dan alleen verbranden.

Andere toepassingen voor biomassa zijn veevoer, voedsel, chemicaliën en materialen en gezondheids- en lifestyle producten (zie verder hoofdstuk 4). Een uitgebreide routekaart voor biomassa is te vinden op <http://www.biobasedeconomy.nl/routekaart/>. Op deze routekaart zijn bijvoorbeeld de toepassingsmogelijkheden van suikerbieten af te lezen, waarbij onderscheid is gemaakt tussen bieten en bietenblad. Er wordt ingegaan op de verwerkingsprocessen, de producten en de toepassingen van deze producten. Biomassa, bewerkingstechniek en eindproduct worden nauw op elkaar afgestemd. Biomassa is de belangrijkste bron van hernieuwbare energie. Uit het Energieakkoord van de SER blijkt dat er plannen zijn om in 2020 twee keer zoveel biomassa te gebruiken dan in 2010. Voor 2050 zijn de plannen als volgt:

- De chemische industrie streeft ernaar om 50% van de plastics uit biomassa te maken.
- Plannen van energiebedrijven wijzen op een toename van biomassacentrales en op het meestoken van biomassa in kolencentrales.
- Eén van de doelen van het Energieakkoord is 60% emissiereductie in de mobiliteit- en transportsector; biobrandstoffen kunnen de CO₂-uitstoot verminderen.
- Energiebedrijven willen in de toekomst 50% groen gas in het gasnet hebben; biomassa vormt hiervoor de belangrijkste grondstof.

Inzet van biomassa in Nederland, 2010

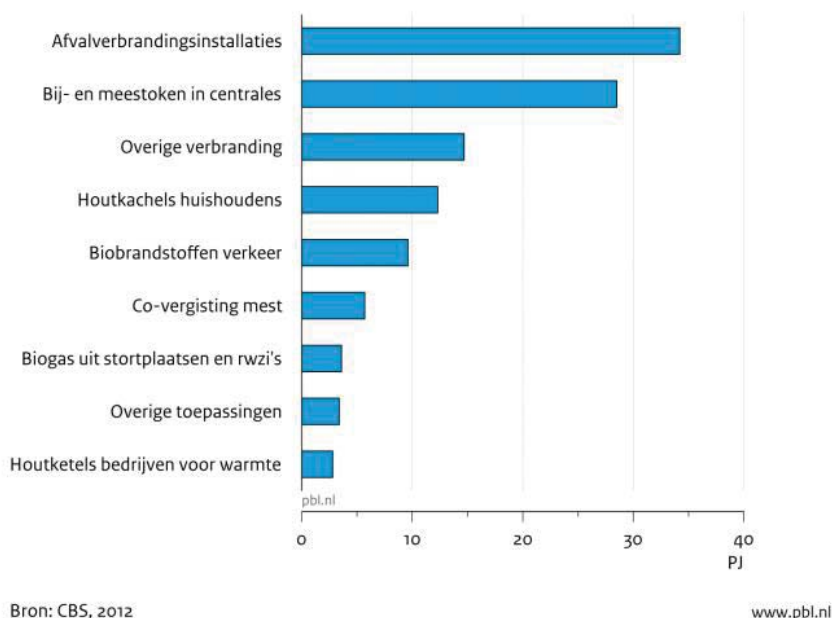


Fig. 56 Inzet van biomassa voor energievoorziening.

In Nederland kan naar schatting op termijn maximaal 200 petajoule (200×10^{15} joule) worden geproduceerd/ingezameld. Het is een uitdaging dit te realiseren. Bronnen hiervoor zijn reststromen van land- en bosbouw, de voedingsindustrie, houtverwerkende bedrijven, huishoudens, natuurbeheer, parken en bermen. Een andere optie is de teelt van zogenaamde energiegewassen, zoals koolzaad, maïs en



olifantsgras. Voordeel is dat deze gewassen snel groeien en dat we goed weten hoe we ze moeten telen. Nadeel is dat hierdoor extra aanspraak wordt gedaan op grond. Dit kan concurreren met voedselproductie en natuur. Daarom heeft de Europese Commissie een voorstel gedaan waardoor het gebruik van landbouwgewassen voor de productie van biobrandstoffen niet meer gestimuleerd zal worden en het gebruik van rest- en afvalstromen wel wordt gestimuleerd. De mogelijk schaarse, duurzaam geproduceerde biomassa kan het beste worden ingezet bij toepassingen waarvoor geen schone alternatieven zijn. Dat geldt bijvoorbeeld voor zwaar transport, vliegtuigen of als groen gas in het gasnet. Bij de productie van die biobrandstoffen of dat groene gas kan ook een groot deel van de CO₂ worden opgevangen en opgeslagen of worden hergebruikt. Die combinatie kan een belangrijke bouwsteen zijn voor een CO₂-arme economie. Er zijn nog wel innovaties nodig om deze combinatie economisch haalbaar te maken.

In het meest ideale geval wordt biomassa volledig benut via bio raffinage. Bio raffinage is de duurzame verwerking van biomassa tot een spectrum van producten. Hierbij wordt gestreefd naar een zo efficiënt mogelijk gebruik van de biomassa. Alle componenten worden optimaal gebruikt en het ontstaan van reststromen wordt geminimaliseerd. In een ideale situatie wordt door een volledige benutting van de biomassa geen extra beslag gelegd op landbouwgronden. Een klassiek voorbeeld van bio raffinage is de verwerking van koolzaad. Door koolzaad te persen komt olie beschikbaar en perskoek. De olie wordt omgeësterd tot biodiesel en ethanol. Uit de perskoek wordt veevoer gemaakt. Mogelijkheden voor bio raffinage van suikerbietenpulp/blad zijn weergegeven in figuur 57. Bietenpulp en bietenblad zijn bronnen voor vezels, monomere suikers, oligo-suikers, eiwitten en mineralen met diverse toepassingsmogelijkheden. Via bio raffinage kunnen de componenten uit gras een waarde opleveren van 700-800 €/ton tegenover 50-70 €/ton nu.

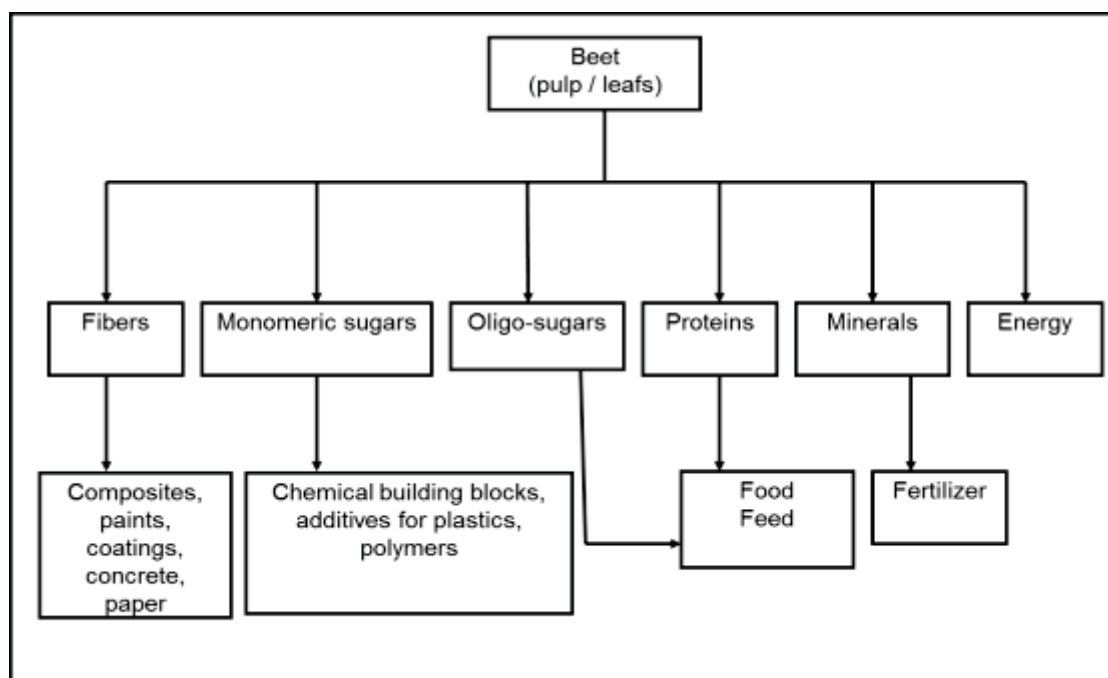


Fig. 57 Bio raffinage van bietenpulp/bietenblad. Bron: Royal Cosun.

Veel bio raffinage-concepten zijn in ontwikkeling of moeten nog ontwikkeld worden. Voor het classificeren van bio raffinage-concepten heeft de *IEA Bioenergy Task 42 on Biorefineries* een systeem ontwikkeld waarmee elk concept kan worden beschreven. Bio raffinage bestaat uit vier concepten: biomassa,



conversiemethoden, platforms en producten. Dit is weergegeven in figuur 58. De samenstelling en structuur van de biomassa is van grote invloed op het bio raffinageproces. Vandaar dat in dit classificatiesysteem onderscheid wordt gemaakt tussen:

- **Gewassen met een vrucht, knol of wortel.** Deze bevatten een hoge concentratie aan suiker, zetmeel, olie of eiwit en relatief weinig water. Voorbeelden zijn granen, zaden, aardappels en suikerbieten. Suikers (sucrose), zetmeel, oliën en eiwitten worden traditioneel gebruikt voor de productie van levensmiddelen of veevoer, maar zijn ook geschikt als basis voor (nieuwe) Biobased producten. Voorbeelden zijn de fermentatie van suikers tot bio-ethanol of chemicaliën, olie voor de productie van zeep, verven, of biodiesel, en eiwitten die na hydrolyse worden toegevoegd als essentiële aminozuren aan veevoer of die dienen als grondstof voor de productie van chemicaliën.
- **Groene biomassa.** Deze biomassa bestaat over het algemeen voornamelijk uit cellulose en hemicellulose, en wordt gekenmerkt door een hoog gehalte aan water. Groene biomassa is nat en bederfelijk. Vaak wordt het ondergeploegd om de structuur van de bodem te verbeteren of verwerkt tot veevoer. Groene biomassa bevat veel eiwitten en vezels, die kunnen worden afgebroken tot suikers (cellulose en hemicellulose) en lignine.
- **Lignocellulosehoudende biomassa** zoals hout en stro. Door de specifieke structuur is het isoleren van waardevolle componenten uit lignocellulose een bewerkelijk proces. Reststromen van land- en bosbouw en houtige energiegewassen kunnen in de toekomst een belangrijke bron van biomassa vormen: biomassa met veel lignocellulose. Hieruit kunnen veel producten gewonnen worden (figuur 59). Met gerichte voorbewerking kan lignocellulose ontsloten worden tot fermenteerbare suikers en andere half- of eindproducten, zoals verpakkingsmaterialen. Vanuit lignocellulose kunnen groene bouwstenen gemaakt worden voor producten, materialen en energiedragers. Als deze typen biomassa kunnen worden omgezet in vloeibare brandstoffen, in groen gas of in plastics ontstaan er producten die gemakkelijk kunnen worden ingezet in ons huidige energiesysteem. De infrastructuur is er al. Gasapparatuur is immers heel gangbaar en voer-, vaar- en vliegtuigen gebruiken vloeibare brandstoffen.
- **Aquatische biomassa.** Hieronder vallen micro-algen, zeewieren en waterplanten. Ze bevatten veel eiwitten en in geval van micro-algen veel oliën. Algen zijn grondstof voor vis- en veevoer en hoogwaardige toepassingen als medicijnen en voedingssupplementen. Zeewier wordt van oudsher voor allerlei toepassingen gebruikt, bijvoorbeeld als (additief voor) voedsel en in farmaceutische en cosmetische producten. Zeewier kan ook als grondstof dienen voor chemicaliën, materialen en energie.



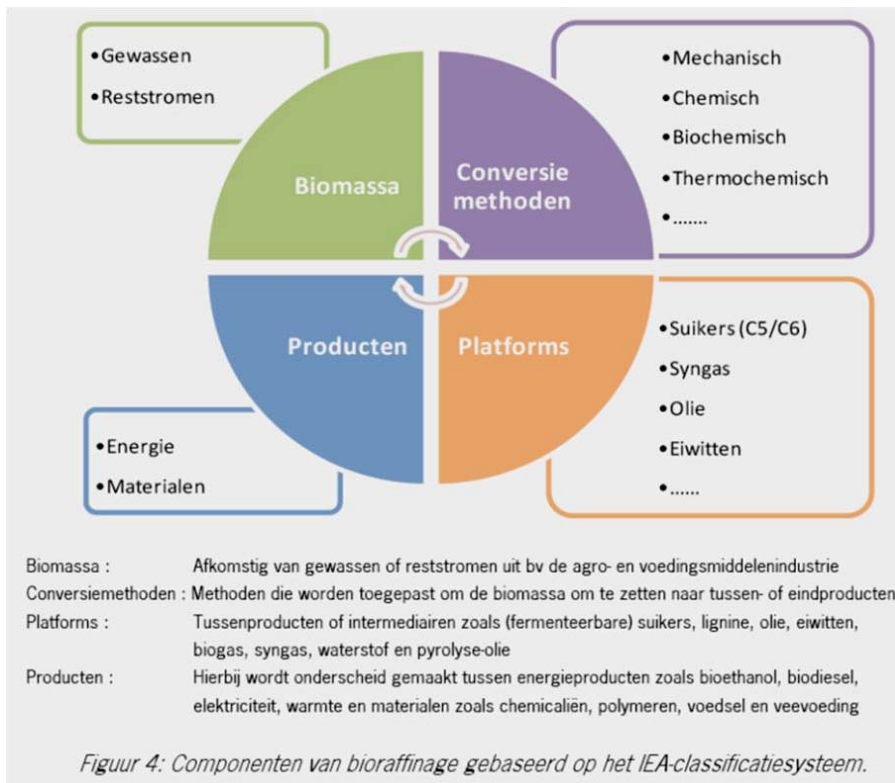


Fig. 58 Componenten van bio raffinage gebaseerd op het IEA-classificatiesysteem.

Niet alle biomassa is even duurzaam en daarom staat het gebruik van biomassa volop ter discussie in relatie tot zaken als effecten op de biodiversiteit, op klimaatverandering en op de voedselvoorziening (zie ook hoofdstuk 3). De Nederlandse overheid heeft een aantal duurzaamheidscriteria geformuleerd. Deze zijn opgenomen in de EU-richtlijn:

1. Gerekend over de hele keten, moet het gebruik van biomassa netto minder emissie van broeikasgassen opleveren dan gemiddeld bij fossiele brandstof;
2. De aanleg van nieuw areaal voor de aanplant van biomassa voor energie mag op langere termijn niet leiden tot het vrijkomen van grote hoeveelheden koolstof die in bodem of vegetatie waren opgeslagen;
3. De productie van biomassa voor energie mag de voedselvoorziening en andere lokale toepassingen, bijvoorbeeld voor medicijnen of bouwmaterialen niet in gevaar brengen;
4. Biomassaproductie zal geen beschermde of kwetsbare biodiversiteit mogen aantasten en zal waar mogelijk de biodiversiteit versterken;
5. Bij de productie en verwerking van biomassa moet de kwaliteit van bodem, oppervlakte- en grondwater en lucht behouden blijven, of zelfs worden verhoogd;
6. De productie van biomassa moet bijdragen aan de lokale welvaart;
7. De productie van biomassa moet bijdragen aan het welzijn van de werknemers en de lokale bevolking.



Lignocellulose Biomass Feedstock

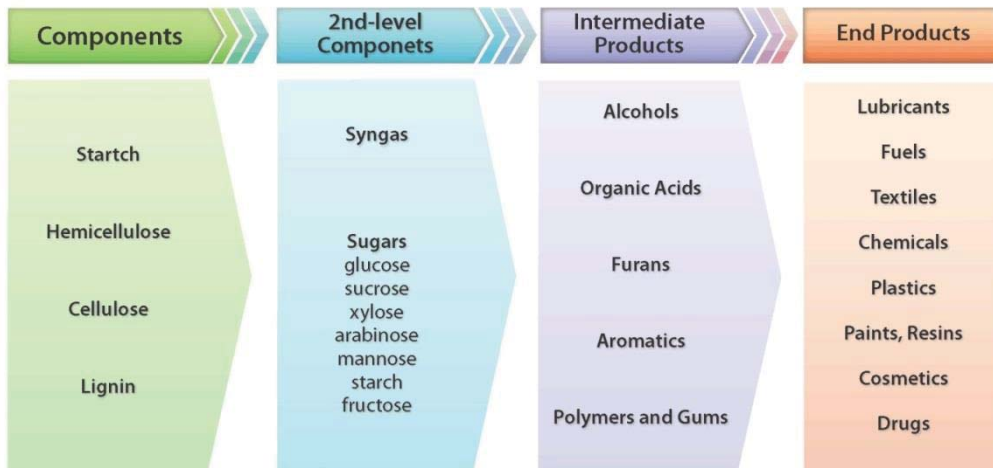


Figure 1. Flow chart of lignocellulose-derived fuels and chemicals.

Fig. 59 Biomassa met veel lignocellulose kent veel toepassingsmogelijkheden.

De productie van biomassa in de grondgebonden landbouw, kent twee hoofdstromen:

- akkerbouw (gewassen en gewasresiduen) en
- graslanden (natuurlijke en cultuurgraslanden).

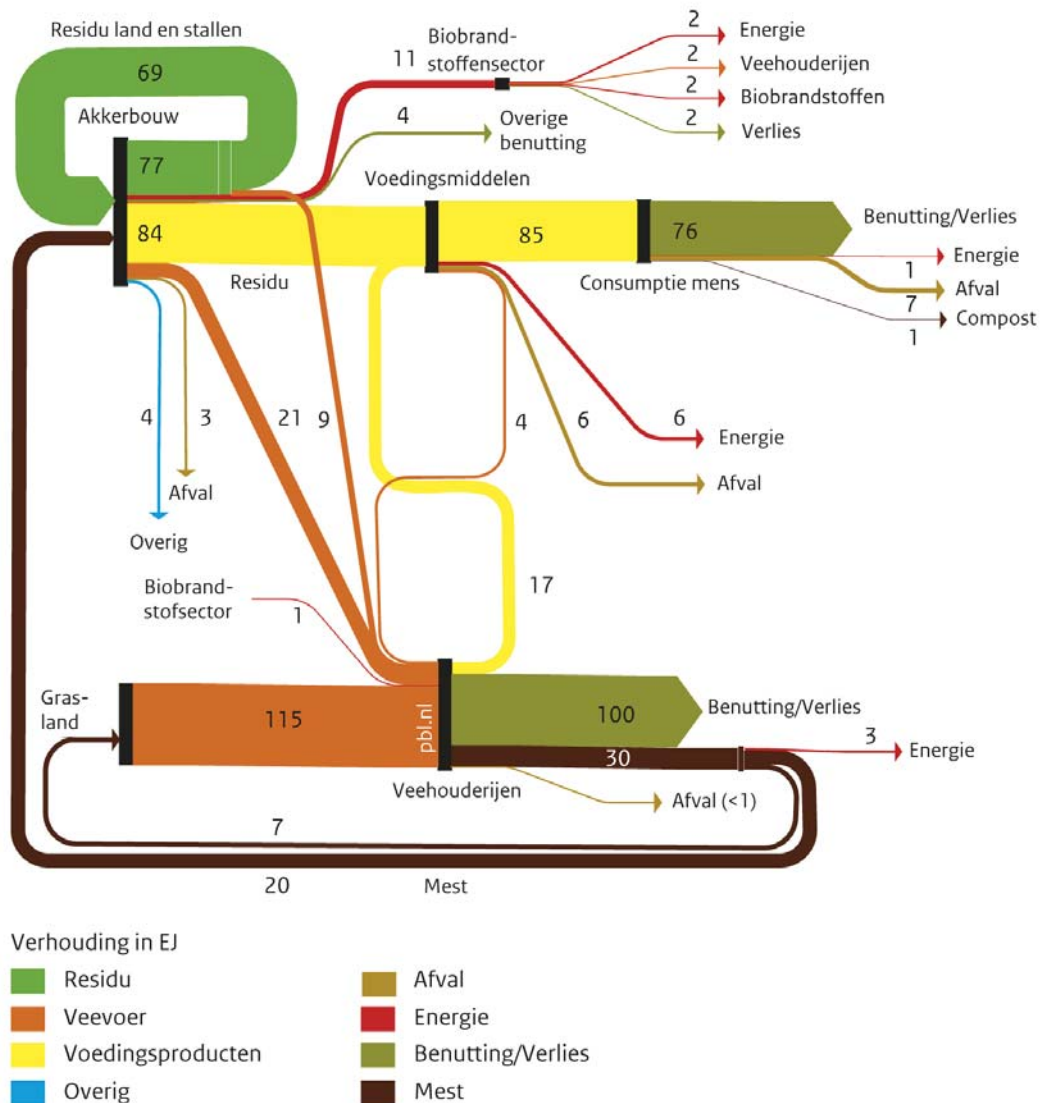
Figuur 60 toont de energie-inhoud van de stromen van gewassen, residuen en graslanden, en van de belangrijkste tussen- en eindproducten ten behoeve van mens en dier (voedsel, veevoer) en energie en materialen. De dikte van de stromen is representatief voor de berekende omvang (in dit geval in termen van energie). Uitgedrukt in energie levert de akker- en tuinbouw ongeveer 200 exajoule (22×10^{18} joule). Zonder de resten die op het land achterblijven, onder meer om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden, is dat 123 exajoule. De graslanden leveren netto 115 exajoule. Daarmee leveren de akkers en graslanden in totaal 238 exajoule.

Van deze hoeveelheid wordt 142 exajoule gebruikt als veevoer, wat 17 exajoule oplevert aan dierlijke consumeerbare producten, zoals vlees, melk en vetten. De energie in het voer wordt door de dieren vooral benut om te leven. Een klein deel van de energie komt in de mest.

Ook de energie in het voedsel van de mens wordt voor het overgrote deel benut om te leven. Naast de 17 exajoule aan dierlijke producten wordt 84 exajoule aan plantaardige biomassa verwerkt tot voedingsproducten voor de mens. Een klein deel komt in het afvalwater. In 2010 werd in totaal ongeveer 15 exajoule aangewend voor energie, deels biobrandstoffen uit gewassen, deels energie uit afvalstromen.



Biomassa uit landbouw, 2010



Bron: PBL

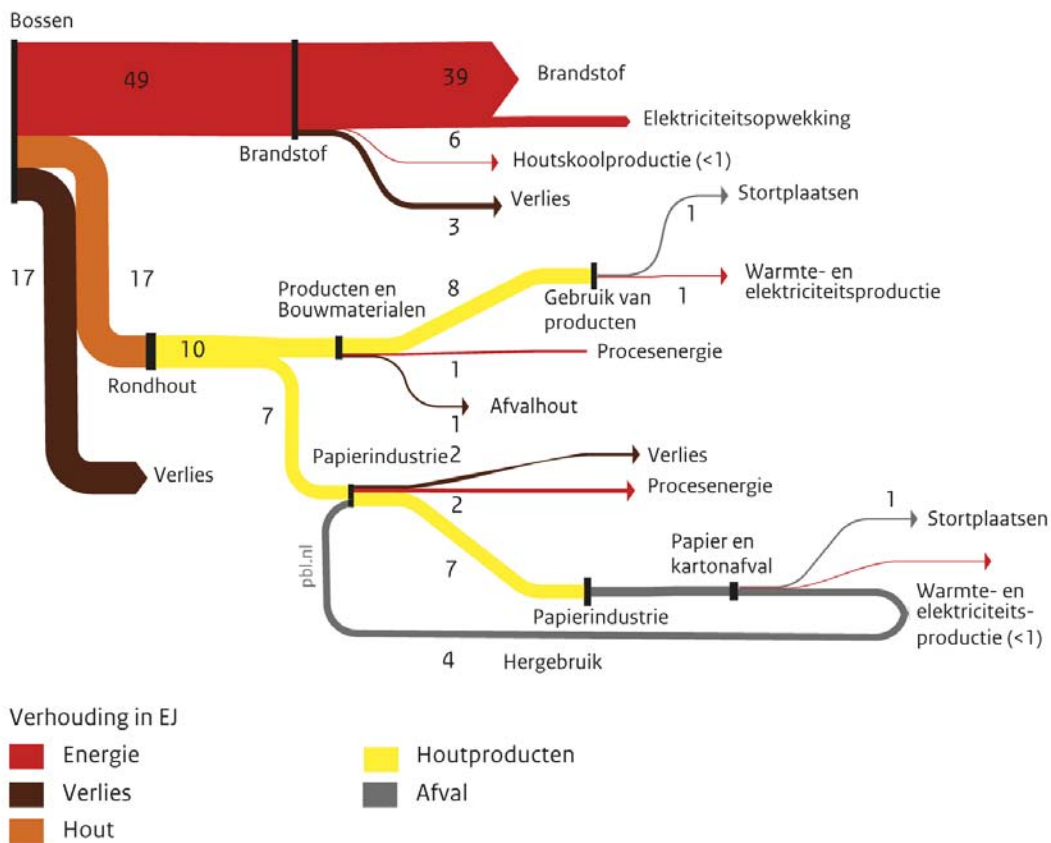
www.pbl.nl

Fig. 60. Energie-inhoud van stromen van gewassen, residuen van gewassen en graslanden en van de belangrijkste tussen- en eindproducten ten behoeve van mens en dier (voedsel, veevoer) en energie en materialen.



Naast de landbouw is biomassa afkomstig van bosbouw en aquatische bronnen. Figuur 61 toont de belangrijkste energiestromen van biomassa uit bossen.

Biomassa uit bossen, 2010



Bron: PBL

www.pbl.nl

Fig. 61 Energie-inhoud van houtstromen uit bossen.

In 2010 is ongeveer 83 exajoule aan hout gekapt. Hiervan is 66 exajoule nuttig gebruikt en is circa 17 exajoule kapresten achtergebleven in het bos of verbrand. Deze resten kunnen ook worden benut, echter achterlaten van een deel van deze resten in het bos is belangrijk voor het behoud van de bodemkwaliteit en biodiversiteit.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen hout voor bouwmaterialen, meubelen, speelgoed, papier (17 exajoule) of direct voor energie (49 exajoule). Hout voor energie heeft een groot aandeel, vooral in ontwikkelingslanden omdat veel mensen daar hout gebruiken als (vaak de enige voor hen beschikbare) energiebron. Een groot deel van de boomresten blijft na de kap achter in het bos of wordt ter plekke verbrand.



7.4 Conversietechnieken voor biomassa

Het uiteenrafelen van biomassa en het opwerken van de verschillende fracties is een grote uitdaging voor een duurzame Biobased Economy. Er wordt volop gewerkt aan de ontwikkeling van technologie om biomassa om te zetten. Van oudsher is verbranding de meest toegepaste methode om energie op te wekken uit biomassa. Andere opties zijn vergisting, vergassing, fermentatie en biotechnologie. Een overzicht van technologieën, de eindproducten (warmte, elektriciteit etc.) en tussenproducten/energievormen staan in figuur 62. Een aantal technologieën wordt in de volgende paragrafen uitgewerkt.

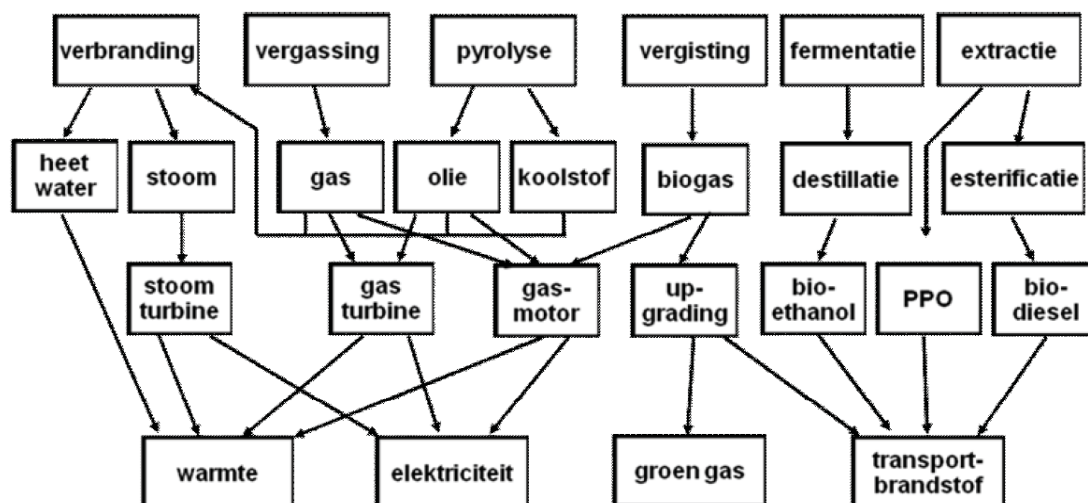


Fig. 62 Conversietechnieken voor biomassa. Bron: KIGO-project CoP Valorisatie biomassa uit natuur en landschap.

7.4.1 Verbranding

Directe verbranding van biomassa is veruit de meest toegepaste vorm van biomassaconversie. Alle gedroogde biomassa kan verbrand worden, bijvoorbeeld gedroogde mest, houtresten, bietenpulp en slachtafval. Voor verbranding is zuurstof nodig. Bij de verbranding van droge biomassa komt warmte vrij die gebruikt wordt om een stoomturbine aan te drijven. Deze turbine wekt de elektriciteit op die als groene stroom verkocht wordt. Een belangrijke parameter voor het rendement van een verbrandingsinstallatie is het vochtgehalte van het verbrande medium. De biomassa moet niet te nat zijn. Mest wordt bijvoorbeeld eerst in de zon gedroogd voordat het verbrand wordt. Bij het verbranden van biomassa moet namelijk zo min mogelijk water vervluchtigen, omdat de energie dan niet gebruikt wordt voor de reactie met zuurstof maar voor het vervluchtigen van vocht wat ten koste gaat van het rendement. Verbranden is een laagwaardige manier om biomassa te gebruiken. Hoogwaardige componenten zoals suikers, eiwitten en oliën worden dan ook verbrand en zijn niet meer beschikbaar voor hoogwaardigere toepassingen.

7.4.2 Pyrolyse

Pyrolyse is de techniek waarbij met behulp van zeer hoge temperaturen (400-800°C) en zonder zuurstof biomassa wordt ontleed (figuur 63). De techniek kan worden gebruikt om bijvoorbeeld pyrolyse-olie, houtskool of koolstofvezels te maken. Voor biomassa wordt meestal nagestreefd om zoveel mogelijk pyrolyse-olie te produceren. Uit droog hout kan door middel van zeer snelle pyrolyse (2 seconden bij 500°C) tot circa 80 % pyrolyse-olie worden geproduceerd, waarbij het resterende gedeelte cokes en gas is. Door pyrolyse wordt lastig te transporteren biomassa geconcentreerd in vloeibare vorm en ontdaan van vaste en



niet-vluchtige bestanddelen, die overblijven als houtskool. De pyrolyse-olie kan voor sommige toepassingen direct worden gebruikt, maar heeft meestal één of meerdere verdere bewerkingen nodig. Pyrolyse is een wezenlijk onderdeel van het vergassingsproces, maar vindt ook plaats in zuurstofarme delen van een verbrandingsproces. Pyrolyse-olie kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor het opwekken van warmte en elektriciteit in traditionele centrales en in stadsverwarming, maar is niet geschikt voor particulier gebruik of in het transport omdat het te zuur is. Na behandeling met waterstof kan het wel worden gebruikt als dieselolie. De pyrolyse-olie is ook grondstof voor diverse chemicaliën, chemische derivaten, lijmstoffen en meststoffen. Voor plastics zijn wel zuivere grondstoffen nodig en biomassa voldoet daar vaak niet aan.

7.4.3 Torrefractie

Torrefractie is een techniek om biomassa zodanig te veranderen dat het beter te gebruiken is bij verbranding en vergassing. Het is een milde vorm van pyrolyse waarbij de biomassa stabiel wordt en niet meer verrot of gaat broeien. Water en vluchtige bestanddelen verdampen en (hemi)cellulose en lignine vallen gedeeltelijk uiteen. Bij torrefractie ontstaat zwarte bio-kool, wat vast, droog en waterafstotend is en tot briketten kan worden geperst. Bosbouw, fruitteelt en boomkwekerij kunnen biomassa leveren voor torrefractie. Torrefractie vindt plaats zonder zuurstof bij temperaturen tussen 200 en 450 °C (figuur 63). Gecombineerd met het verzwaren van biomassa kan torrefractie ervoor zorgen dat biomassa een zeer efficiënte en effectieve vorm van bijvoorbeeld brandstof wordt, die bovendien gemakkelijk te vervoeren is. Torrefractie is veelbelovend, maar de opschaling van de techniek is ingewikkeld.

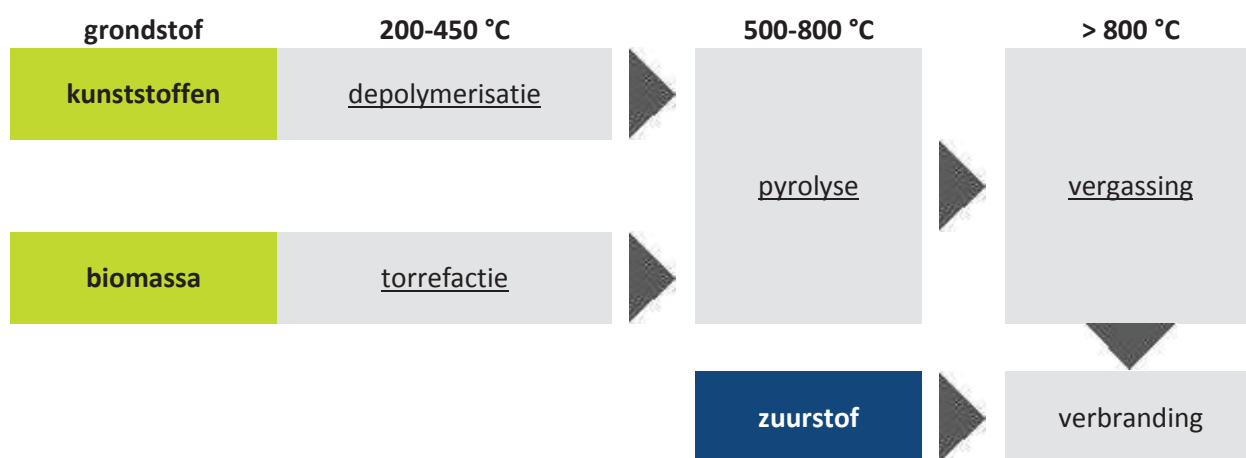


Fig. 63 Conversietechnieken van biomassa (en kunststoffen).

7.4.4 Vergassing

Vergassing is het onvolledig verbranden van (bio)massa. Dit wordt behaald door de (bio)massa bij hoge temperatuur (> 850 °C) te verbranden in een zuurstofarme omgeving. De hoeveelheid zuurstof is dusdanig geregeld dat de verbranding genoeg hitte oplevert om het proces gaande te houden.

Bij verschillende temperaturen wordt een verschillend gas geproduceerd:

- <1000°C: Productgas, dit gas bestaat naast CO₂ en H₂O voornamelijk uit CO, H₂, CH₄, andere koolwaterstoffen en teer.
- >1200°C of bij gebruik van een katalysator: Biosyngas, dit gas bestaat naast CO₂ en H₂O compleet uit H₂ en CO. Dit gas is nagenoeg gelijk aan zijn fossiele equivalent Syngas, en kan voor dezelfde toepassingen worden gebruikt.



Het gevormde productgas kan na reiniging worden gebruikt in een warmtekrachtkoppeling of brandstofcel om energie op te wekken. Via een methanisatiestap kan de waterstof en koolmonoxide worden omgezet in Synthetic Natural Gas (SNG) met een hoog gehalte CH_4 . Na zuivering en verdere bewerking kan het SNG net als gewoon biogas in het aardgasnet worden geïnjecteerd. In tegenstelling tot vergisting is dit een techniek die nog verder ontwikkeld moet worden.

Vanwege diverse voordelen, lijkt het potentieel van vergassing groter dan dat van vergisting (zie 7.3. 5):

- Er wordt meer productgas gevormd per hoeveelheid biomassa;
- Het gas wordt gevormd in minuten in plaats van weken;
- Het vergassingsproces is niet afhankelijk van microbiologie die relatief lastig te sturen is.

Hier staat tegenover dat het een energie-intensieve, vooralsnog dure techniek is die zich nog niet op grote schaal bewezen heeft. De verwachting is dat pas in 2015 het Synthetic Natural Gas (SNG) een belangrijke rol zal gaan spelen in het vervangen van fossiel aardgas door hernieuwbare varianten in het aardgasnet.

Vergassing heeft ook een aantal voordelen boven verbranding:

- In een vergassingsinstallatie kan een extreem laag emissieniveau worden bereikt, waarmee tegemoet gekomen kan worden aan de strenge emissieregelgeving;
- De technologie is geschikt voor moeilijke brandstoffen, zoals stro, schillen van zonnebloempitten en gras en geeft veel minder vervuiling van de apparatuur. Om een voorbeeld te geven: in een conventioneel systeem die schillen van zonnebloempitten verbrandt moet de boiler elke 2 – 4 weken worden gestopt zodat de warmtewisselende oppervlakken handmatig schoongemaakt kunnen worden. Een boilerstop duurt normaal 2 – 4 dagen voordat deze is afgekoeld, schoongemaakt en opnieuw opgestart. Een vergassingssysteem kan enkele maanden achtereen in werking blijven, voordat een onderhoudsstop nodig is;
- De elektrische efficiëntie is hoog.

7.4.5 Vergisting, fermentatie en biotechnologie

Vergisting en fermentatie zijn niet-thermische conversietechnieken, waarbij micro-organismen betrokken zijn. Composteren is een voorbeeld en levert meststof en bodemverbeteraars met veel organische stof. Bij vergisting wordt alleen gebruik gemaakt van gisten. Bij fermenteren wordt gebruik gemaakt van bacteriën of combinaties van gisten en bacteriën. In de biotechnologie heeft fermentatie een veel bredere betekenis gekregen, namelijk de toepassing van micro-organismen voor het maken van producten, ook als daar zuurstof aan te pas komt.

7.4.5.1 Vergisting

Bij vergisting wordt biomassa met behulp van gisten omgezet naar onder andere alcohol, melkzuur, methaan en CO_2 . Bij anaerobe vergisting wordt natte biomassa, zoals loof, bermgras, natuurgas en GFT zonder zuurstof omgezet in biogas (methaan). De biomassa die vergist wordt kan een enkele reststroom zijn, bijvoorbeeld rioolslib, GFT, mest of maïs (mono-vergisting), maar kan ook een combinatie van verschillende soorten biomassa zijn, meestal mest en restproducten uit de landbouw (co-vergisting). De in totaal 120 toegelaten producten voor co-vergisting staan op zogenaamde positieve lijsten van het Ministerie van EZ. Een andere vorm van anaerobe vergisting is de alcoholische vergisting, waarbij suikerhoudende biomassa



wordt omgezet in ethanol en koolzuurgas. Vergisting kan ook onder aerobe omstandigheden plaatsvinden. Een voorbeeld is de productie van citroenzuur met behulp van de schimmel *Aspergillus*.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen droge en natte vergisting. Bij natte vergisting ligt de biomassa opgeslagen in afgesloten tanks (figuur 64). Hierdoor komt er geen zuurstof bij, wat zorgt voor een hogere omzet van biomassa naar biogas. Bovendien zorgt dit voor een temperatuur waar de bacteriën optimaal in werken. Regelmatig wordt de biomassa omgeroerd, om te voorkomen dat de biomassa uit elkaar valt in verschillende lagen, wat het vergistingsproces zou kunnen vertragen. De eindproducten van dit proces zijn biogas en als restproduct digestaat. Momenteel wordt er op deze manier 10 ton per dag geproduceerd in Nederland. Het digestaat wordt gebruikt als meststof en gaat weer terug naar het land. Een warmtekrachtkoppeling (WKK) kan uit biogas elektriciteit en warmte maken. Biogas kan ook opgewaardeerd worden tot aardgas kwaliteit. Dat heeft de voorkeur, omdat het rendement meestal hoger is dan bij WKK-toepassing. Bovendien is Groen Gas ook toepasbaar als transportbrandstof.

Bij droge vergisting wordt biomassa in afgesloten tanks gestopt en vermengd met de biomassa uit een oude batch. Na vermenging wordt de zuurstof uit de tank gehaald en vervangen door CO₂. Ondanks dat het droge vergisting heet, wordt er toch water toegevoegd, omdat de (gist)bacteriën anders niet kunnen groeien. Als de biomassa vergist is, wordt het grootste deel hiervan verwijderd. Een klein deel blijft achter als basis voor een nieuwe batch.

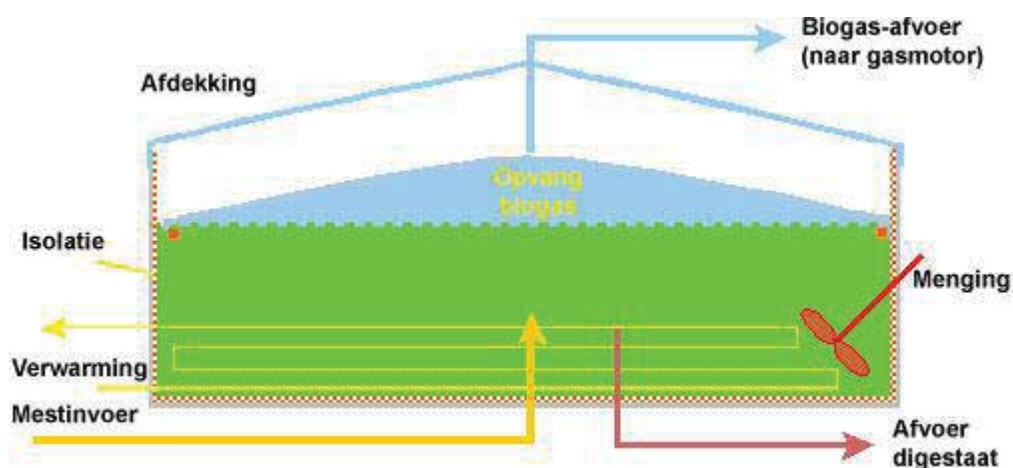


Fig. 64 De werking van een vergistingsinstallatie.

7.4.5.2 Fermentatie

Fermentatie betekent eigenlijk vergisting. Fermentatie is het biochemische proces waarbij biologische materialen in afwezigheid van zuurstof met behulp van bacteriën, celculturen of schimmels worden omgezet in chemische verbindingen. Verschillende biomassastromen kunnen gebruikt worden in het fermentatieproces, zoals aardappelschillen, wortels, stro en aquatische biomassa. Suikers en andere organische verbindingen, zoals vetzuren, alcoholen en organische zuren kunnen door middel van fermentatie worden omgezet in ethanol, maar ook in diverse andere grondstoffen, zoals melkzuur, barnsteenzuur, 1,3-propaandiol, vetzuren, waterstof en PHA's (polyhydroxyalkanoaten), PHA's kunnen een interessante bron zijn voor bioplastics. Op het moment is de kwaliteit echter nog niet constant genoeg en is de kostprijs te hoog. Bio-ethanol wordt verkregen via microbiële fermentatie van suikers, bijvoorbeeld uit suikerriet, tarwe, mais, triticale, rogge, gerst en suikerbieten. Dit gebeurt doorgaans met behulp van gisten.



Doordat fermentatie van suikers zeer efficiënt is geworden, komt ruim 90% van de energie die in de suiker aanwezig is, in de bio-ethanol terecht.

Het fermentatieproces vindt vaak plaats in geroerde tankreactoren. De zuivering van de producten uit het fermentatieproces is vaak een grote kostenpost. Energetisch gezien is fermentatie niet efficiënt. Het grote voordeel is dat bio-ethanol eenvoudig te gebruiken is als transportbrandstof. Om fermentatie van bepaalde biomassastromen, bijvoorbeeld houtige biomassa eenvoudiger te maken, wordt chemische of fysische ontsluiting toegepast.

7.4.5.3 Biotechnologie

Biotechnologie is het gebruik van bacteriën, schimmels of enzymen voor de productie van gewenste stoffen. Dit kunnen tussenproducten zijn of eindproducten. Zo worden commerciële enzympreparaten gebruikt die cellulases bevatten die cellulose kunnen afbreken tot glucose of hemicellulases die hemicellulose kunnen afbreken tot C₅ suikers. Glucose en de C₅ suikers kunnen vervolgens gefermenteerd worden tot producten zoals ethanol, butanol, aceton, barnsteenzuur of melkzuur. Het gebruik van biotechnologie leidt over het algemeen tot een duurzame productiemethode omdat er vaak minder energie en minder niet-hernieuwbaar uitgangsmateriaal nodig is. Biotechnologie kan onderverdeeld worden in:

- **rode:** voor toepassingen in medische sector voor mens en gezondheid;
- **witte:** voor de productie van nuttige chemische stoffen en bio-energie: industriële biotechnologie;
- **groene:** voor toepassingen op het gebied van landbouw en voeding.

Waarbij er niet altijd sprake is van duidelijk onderscheid. Vormen van biotechnologie zijn 'recombinant DNA-technologie', 'gen- en celfusietechnieken' en het 'synthetiseren' van stoffen met behulp van enzymen. Door gentechnologie en stamverbetering zijn er steeds meer mogelijkheden voor de inzet van micro-organismen in fermentatieprocessen. Het aanpassen van micro-organismen aan gewenste specifieke omstandigheden gaat steeds sneller. Biotechnologie zal in de toekomst een steeds grotere rol spelen in het produceren van biologische moleculen voor de farmaceutische, chemische en voedsel industrie.

7.4.7 Extractie

Extractie is het persen van oliehoudende grondstoffen. Deze olie kan direct gebruikt worden als transportbrandstof, of na een additionele verwerkingsstap als biodiesel.

7.4.8 Scheidingstechnieken voor biomassa

Met diverse scheidingstechnieken kunnen hoogwaardige voedselingrediënten, bouwstenen voor bio-chemicaliën en biobrandstoffen uit een biomassastroom gehaald worden. Vaak wordt bij de oogst een gewas al in verschillende delen gescheiden. Voorbeelden van scheidingstechnieken zijn ionenwisseling, droge fractionering, membraanscheiding, adsorptie, chromatografie, centrifuge, precipitatie, strippen, gaswassen, extractie, filtratie, persen, indampen/drogen en destillatie. De keuze voor een specifieke scheidingstechniek, of combinaties van scheidingstechnieken, hangt af van de gewenste productkwaliteit, scheidingsrendement en financiële mogelijkheden. Het scheidingsproces heeft niet alleen invloed op de zuiverheid van het eindproduct, maar kan ook een grote invloed op andere kwaliteitskenmerken hebben. Zo kan een verhoogde temperatuur, aanwezigheid van water of andere hulpstoffen een behoorlijke invloed op biomoleculen hebben, waardoor bijvoorbeeld functionaliteit van eiwitten (zoals schuimvermogen) verloren gaat of moleculen uiteen vallen.



Opdrachten:

1. Gebruik de routekaart op <http://www.biobasedeconomy.nl/routekaart/> om de verwerkingsroute(s) van een Nederlands landbouwproduct te beschrijven. Welke conversietechnieken worden gebruikt? Welke grondstoffen kunnen gemaakt worden en waarvoor kunnen deze grondstoffen gebruikt worden?
2. Kies een gewas dat je zou willen telen speciaal voor de productie van biomassa. Waarom kies je dit gewas? Wat zijn de mogelijkheden voor het gebruik van de biomassa die het gewas oplevert en welke hindernissen zijn er nu nog?
3. Wat is het voordeel van 2^e generatie biomassa in vergelijking met 1^e generatie biomassa?
4. Noem drie belangrijke voordelen van het telen van algen en zeewieren voor de productie van biomassa.
5. Waarom zijn gewassen zoals hennep en vlas interessant binnen een Biobased Economy? Noem toepassingsmogelijkheden.
6. Wat is fermentatie? Noem enkele grondstoffen die fermentatie kan opleveren.
7. Wat is pyrolyse? Welke producten ontstaan er? Waarom is deze techniek interessant voor de verwerking van biomassa? Welke belangrijke beperking is er nu nog?
8. Wat is bio raffinage en waarom is er zoveel aandacht voor?



Referenties

Annevelink, B. en Harmsen, P. 2010. Bioraffinage. Naar een optimale verwaarding van biomassa. Groene grondstoffen. Wageningen UR.

Anonymous, 2010. Biograndstoffen. Van fossiel tot biomassa. Stichting Biowetenschappen en maatschappij. <http://edepot.wur.nl/137837>.

Anonymous, 2013. Hernieuwbare energie in Nederland. 2012. Centraal Bureau voor de Statistiek.

Koppejan, J., Elbersen, W., Meeuwsen, M. en Bindraban, P. 2009. Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020. Procede Biomass B.V.

<http://infographics.pbl.nl/biomassa/>

<http://www.biobasedeconomy.nl/routekaart/>

<http://www.groenegrondstoffen.nl>

http://www.inagro.be/blogs/professioneel/PublishingImages/flyer_vlas.pdf

http://www.inagro.be/blogs/professioneel/PublishingImages/flyer_miscantus.pdf

www.kennislink.nl/publicaties/biobrandstoffen-1

